УДК656.61.052.484

ON THE VECTOR ERRORS ARISING DURING SHIP TURN

ВЕКТОРИАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПОВОРОТЕ СУДНА

I. I. Vorohoin, *PhD, associate professor,* **Y. V. Kazak,** *PhD student*
И. И. Ворохобин, *к.т.н., доцент,* **Ю. В. Казак,** *аспирант*

National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Национальный университет «Одесская морская академия», Украина

ABSTRACT

Two main factors influencing on forming of vector error during ship turn are considered in the paper. Those are the rudder helm position and time of the maneuver beginning. Analytical expressions of vector's errors depending on each of influencing factors are obtained.

Key words: safety of navigation, vector's error of turn of ship, substantial factors of vector's errors.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Обеспечение безопасности судовождения в стесненных районах плавания является одной из наиболее актуальных проблем мореплавания. При ее решении происходит снижение числа навигационных аварий, которые возникают из-за посадок судов на мель и навалов на причал. Число навигационных аварий можно снизить, повысив точность управления судном при выполнении им поворотов, т. е. минимизацией векториальных погрешностей, возникающих после завершения поворота.

Поэтому следует выявить существенные факторы, влияющие на формирования таких погрешностей, и предупредить их отрицательное влияние на процесс судовождения.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Вопросы формирования векториальных погрешностей поворота судна при анализе литературы выявить не удалось. К обсуждаемой проблематике имеют отношение вопросы по оценке надежности судовождения в случае, когда судно следует мимо точечных навигационных опасностей, которые рассмотрены в работе [1], а в работе [2] обоснован критерий навигационной безопасности.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является разработка модели формирования векториальной погрешности поворота судна.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

При выполнении поворота судном векториальная погрешность относительно прогнозируемой точки выхода судна на новый курс может появиться из-за погрешности перекладки пера руля $\Delta\beta_k$ или погрешности момента времени начала поворота Δt.

Рассмотрим векториальную погрешность $S^{(\beta)}$, которая возникает из-за погрешности перекладки пера руля $\Delta\beta_k$. Для этого обратимся к рис. 1. Если угол кладки руля β_k не содержит погрешности, то к концу маневра поворота судно окажется на новом участке программной траектории в точке М и векториальная погрешность $S^{(\beta)}$ не возникает.

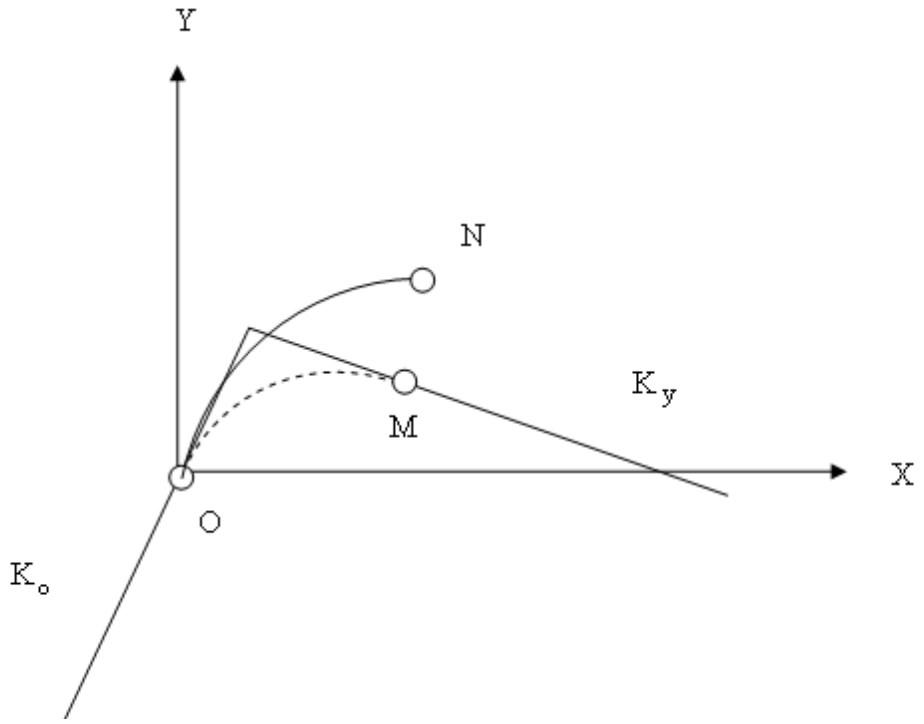

Рис. 1. Возникновение векториальной погрешности $S^{(\beta)}$

При наличии погрешности $\Delta\beta_k$ угол кладки руля равен $\beta_k + \Delta\beta_k$, и к концу маневра, когда судно достигает курса K_y, оно оказывается в точке N. Погрешность $S^{(\beta)}$ определяется величиной отрезка MN и ее составляющие $S_x^{(\beta)}$ и $S_y^{(\beta)}$ равны:

$$S_x^{(\beta)} = x_N - x_M \text{ и } S_y^{(\beta)} = y_N - y_M ,$$

где x_M и y_M - координаты точки М;

x_N и y_N - координаты точки N.

Рассмотрим динамическую модель вращательного движения судна с постоянной угловой скоростью, которая характеризуется следующим уравнением:

$$\dot{K} = k_\omega \beta_k ,$$

где k_ω - коэффициент эффективности руля.

Решение данного уравнения:

$$K = K_o + k_\omega \beta_k t .$$

Длительность поворота судна τ определяется выражением:

$$\tau = \frac{\Delta K}{k_\omega \beta_k},$$

где $\Delta K = K_y - K_o$.

Координаты точки M определяются выражениями:

$$x_M = \int_0^\tau V_o \sin[K_o + a_\omega t]dt = V_o \sin K_o \int_0^\tau \cos(a_\omega t)dt + V_o \cos K_o \int_0^\tau \sin(a_\omega t)dt ,$$

$$y_M = \int_0^\tau V_o \cos(K_o + a_\omega t)dt = V_o \cos K_o \int_0^\tau \cos(a_\omega t)dt - V_o \sin K_o \int_0^\tau \sin(a_\omega t)dt ,$$

где $a_\omega = k_\omega \beta_k$.

Так как:

$$\int_0^\tau \sin(a_\omega t)dt = -\frac{1}{a_\omega}\cos a_\omega t\Big|_0^\tau = -\frac{1}{a_\omega}[\cos a_\omega \tau - 1],$$

$$\int_0^\tau \cos(a_\omega t)dt = \frac{1}{a_\omega}\sin a_\omega t\Big|_0^\tau = \frac{1}{a_\omega}\sin a_\omega \tau ,$$

то с учетом того, что $a_\omega \tau = \Delta K$ и $K_o + \Delta K = K_y$, окончательно выражения для координат x_M и y_M принимают вид:

$$x_M = \frac{V_o}{k_\omega \beta_k}(\cos K_o - \cos K_y),$$

$$y_M = \frac{V_o}{k_\omega \beta_k}(\sin K_y - \sin K_o).$$

Аналогично находим выражения для координат x_N и y_N точки N:

$$x_N = \frac{V_o}{k_\omega (\beta_k + \Delta\beta_k)}(\cos K_o - \cos K_y),$$

$$y_N = \frac{V_o}{k_\omega\,(\beta_k + \Delta\beta_k)}(\sin K_y - \sin K_o)\,.$$

Составляющие $S_x^{(\beta)}$ и $S_y^{(\beta)}$ векториальной погрешности имеют вид:

$$S_x^{(\beta)} = \frac{V_o}{k_\omega}(\cos K_o - \cos K_y)[\frac{1}{(\beta_k + \Delta\beta_k)} - \frac{1}{\beta_k}],$$

$$S_y^{(\beta)} = \frac{V_o}{k_\omega}(\sin K_y - \sin K_o)[\frac{1}{(\beta_k + \Delta\beta_k)} - \frac{1}{\beta_k}].$$

Так как $\beta_k >> \Delta\beta_k$, то можно записать:

$$S_x^{(\beta)} = \frac{-V_o}{k_\omega \beta_k^2}(\cos K_o - \cos K_y)\Delta\beta_k,$$

$$S_y^{(\beta)} = \frac{-V_o}{k_\omega \beta_k^2}(\sin K_y - \sin K_o)\Delta\beta_k.$$

Рассмотрим векториальную погрешность $S^{(t)}$, возникающую из-за погрешности момента времени начала поворота Δt (рис. 2).

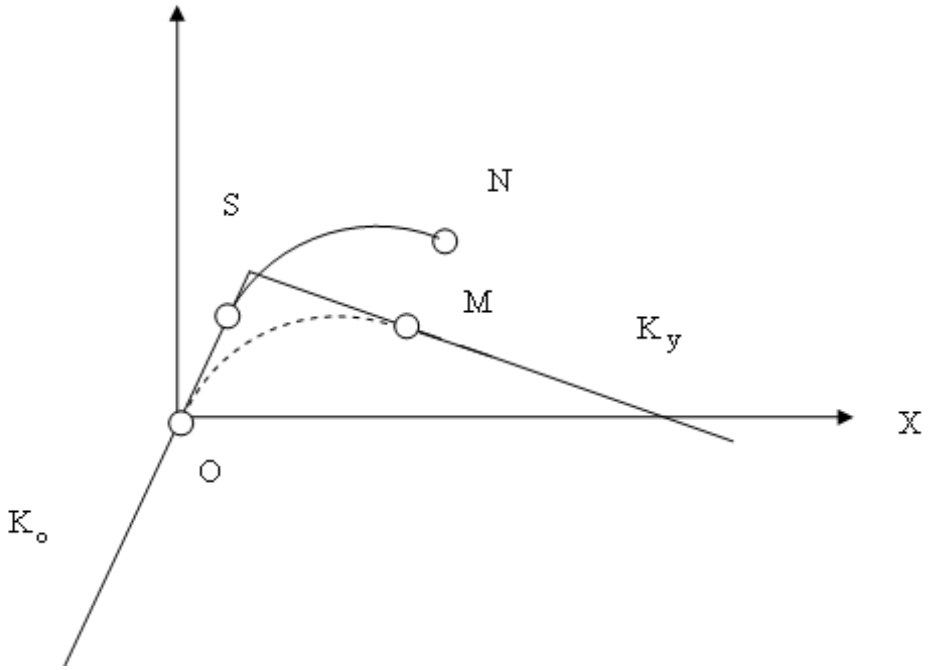

Рис. 2. Формирование векториальной погрешности $S^{(t)}$

Как следует из рис. 2, погрешность $S^{(t)}$ равна отрезку MN, который в свою очередь совпадает по величине с отрезком OS. Поэтому:

$$S^{(t)} = OS = V_o \Delta t\,.$$

Составляющие $S_x^{(t)}$ и $S_y^{(t)}$ данной векториальной погрешности имеют вид:

$$S_x^{(t)} = V_o \sin K_o \Delta t\,,$$

$$S_y^{(t)} = V_o \cos K_o \Delta t .$$

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

В статье рассмотрены два существенных фактора, которые ведут к появлению векториальных погрешностей поворота судна. Показано, что такими факторами являются погрешности перекладки пера руля и момента времени начала маневра поворота. В дальнейшем целесообразно рассмотреть аналитическое выражение погрешности для других моделей поворотливости судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / В.Т.Кондрашихин - М.: Транспорт, 1989. - 230с.
2. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения / Е. Ф. Мельник // Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65-73.